

#3
1-17-02

Docket No.: 50212-305

PATENT

IN THE UNITED STATES PATENT AND TRADEMARK OFFICE

In re Application of

Motonori NAKAMURA, et al.

Serial No.:

Group Art Unit:

Filed: October 16, 2001

Examiner:

For: OPTICAL FIBER DEVICE AND METHOD OF MAKING THE SAME



**CLAIM OF PRIORITY AND
TRANSMITTAL OF CERTIFIED PRIORITY DOCUMENT**

Commissioner for Patents
Washington, DC 20231

Sir:

In accordance with the provisions of 35 U.S.C. 119, Applicant hereby claims the priority of:

Japanese Patent Application Number 2000-321687, Filed October 20, 2000.

cited in the Declaration of the present application. A Certified copy is submitted herewith.

Respectfully submitted,

MCDERMOTT, WILL & EMERY

A handwritten signature in black ink, appearing to read "Arthur J. Steiner".

Arthur J. Steiner
Registration No. 26,106

600 13th Street, N.W.
Washington, DC 20005-3096
(202) 756-8000 AJS:kjw
Date: October 16, 2001
Facsimile: (202) 756-8087

50212-305
Motohori NAKAMURA, et al
10/16/2001

日 本 国 特 許 庁

JAPAN PATENT OFFICE

McDermott, Will & Emery

別紙添付の書類に記載されている事項は下記の出願書類に記載されている事項と同一であることを証明する。

This is to certify that the annexed is a true copy of the following application as filed with this Office

出 願 年 月 日

Date of Application:

2000年10月20日

出 願 番 号

Application Number:

特願2000-321687

出 願 人

Applicant(s):

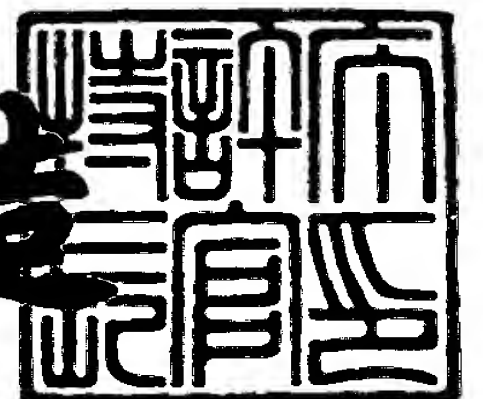
住友電気工業株式会社

J1002 U.S. PTO
09/977348
10/16/01

2001年 4月20日

特 許 庁 長 官
Commissioner,
Japan Patent Office

及 川 耕 造



出証番号 出証特2001-3031624

【書類名】 特許願

【整理番号】 100Y0340

【提出日】 平成12年10月20日

【あて先】 特許庁長官殿

【国際特許分類】 G02B 6/255

【発明者】

 【住所又は居所】 神奈川県横浜市栄区田谷町 1 番地 住友電気工業株式会
社 横浜製作所内

 【氏名】 中村 元宣

【発明者】

 【住所又は居所】 神奈川県横浜市栄区田谷町 1 番地 住友電気工業株式会
社 横浜製作所内

 【氏名】 嘉数 修

【発明者】

 【住所又は居所】 神奈川県横浜市栄区田谷町 1 番地 住友電気工業株式会
社 横浜製作所内

 【氏名】 横田 大介

【特許出願人】

 【識別番号】 000002130

 【氏名又は名称】 住友電気工業株式会社

【代理人】

 【識別番号】 100088155

 【弁理士】

 【氏名又は名称】 長谷川 芳樹

【選任した代理人】

 【識別番号】 100089978

 【弁理士】

 【氏名又は名称】 塩田 辰也

【選任した代理人】

【識別番号】 100092657

【弁理士】

【氏名又は名称】 寺崎 史朗

【選任した代理人】

【識別番号】 100110582

【弁理士】

【氏名又は名称】 柴田 昌聰

【手数料の表示】

【予納台帳番号】 014708

【納付金額】 21,000円

【提出物件の目録】

【物件名】 明細書 1

【物件名】 図面 1

【物件名】 要約書 1

【包括委任状番号】 0001754

【ブルーフの要否】 要

【書類名】 明細書

【発明の名称】 光ファイバ素子およびその製造方法

【特許請求の範囲】

【請求項 1】 融着点で互いに融着接続された第 1 の光ファイバおよび第 2 の光ファイバを含む光ファイバ素子であって、

前記第 1 の光ファイバの融着接続前の信号光波長におけるモードフィールド径を値 D_{10} とし、前記第 2 の光ファイバの融着接続前の前記信号光波長におけるモードフィールド径を値 D_{20} としたときに、前記値 D_{10} と前記値 D_{20} との差が $2 \mu m$ 以上であり、

前記融着点から距離 L (単位 mm) の位置における前記第 1 の光ファイバの前記信号光波長におけるモードフィールド径を $D_1(L)$ とし、前記融着点から距離 L (単位 mm) の位置における前記第 2 の光ファイバの前記信号光波長におけるモードフィールド径を $D_2(L)$ としたときに、

$$D_1(L) - D_{10} \leq 0.1 \mu m \text{ (ただし、} L \geq 5 \text{)}$$

$$D_2(L) - D_{20} \leq 0.1 \mu m \text{ (ただし、} L \geq 5 \text{)}$$

$$(D_1(0) - D_1(2)) / 2 \leq 1.5 \mu m / mm$$

$$(D_2(0) - D_2(2)) / 2 \leq 1.5 \mu m / mm$$

$$(D_1(0) - D_1(3)) / 3 \leq 2.5 \mu m / mm$$

$$(D_2(0) - D_2(3)) / 3 \leq 2.5 \mu m / mm$$

なる関係式を満たす、

ことを特徴とする光ファイバ素子。

【請求項 2】 融着点で互いに融着接続された第 1 の光ファイバおよび第 2 の光ファイバを含む光ファイバ素子であって、

前記第 1 の光ファイバの融着接続前の信号光波長におけるモードフィールド径を値 D_{10} とし、前記第 2 の光ファイバの融着接続前の前記信号光波長におけるモードフィールド径を値 D_{20} としたときに、前記値 D_{10} と前記値 D_{20} との差が $2 \mu m$ 以上であり、

前記融着点から距離 L (単位 mm) の位置における前記第 1 の光ファイバの前記信号光波長におけるモードフィールド径を $D_1(L)$ とし、前記融着点から距離

L (単位 mm) の位置における前記第 2 の光ファイバの前記信号光波長におけるモードフィールド径を $D_2(L)$ としたときに、

$$D_1(L) - D_{10} \leq 0.1 \mu\text{m} \quad (\text{ただし、} L \geq 5)$$

$$D_2(L) - D_{20} \leq 0.1 \mu\text{m} \quad (\text{ただし、} L \geq 5)$$

$$(D_1(0) - D_1(2)) / 2 \leq 1.0 \mu\text{m/mm}$$

$$(D_2(0) - D_2(2)) / 2 \leq 1.0 \mu\text{m/mm}$$

なる関係式を満たす、

ことを特徴とする光ファイバ素子。

【請求項 3】 融着点で互いに融着接続された第 1 の光ファイバおよび第 2 の光ファイバを含む光ファイバ素子であって、

前記第 1 の光ファイバの融着接続前の信号光波長におけるモードフィールド径を値 D_{10} とし、前記第 2 の光ファイバの融着接続前の前記信号光波長におけるモードフィールド径を値 D_{20} としたときに、前記値 D_{10} と前記値 D_{20} との差が $2 \mu\text{m}$ 以下であり、

前記融着点から距離 L (単位 mm) の位置における前記第 1 の光ファイバの前記信号光波長におけるモードフィールド径を $D_1(L)$ とし、前記融着点から距離 L (単位 mm) の位置における前記第 2 の光ファイバの前記信号光波長におけるモードフィールド径を $D_2(L)$ としたときに、

$$D_1(L) - D_{10} \leq 0.1 \mu\text{m} \quad (\text{ただし、} L \geq 3)$$

$$D_2(L) - D_{20} \leq 0.1 \mu\text{m} \quad (\text{ただし、} L \geq 3)$$

$$(D_1(0) - D_1(1)) / 1 \leq 1.5 \mu\text{m/mm}$$

$$(D_2(0) - D_2(1)) / 1 \leq 1.5 \mu\text{m/mm}$$

なる関係式を満たす、

ことを特徴とする光ファイバ素子。

【請求項 4】 融着点で互いに融着接続された第 1 の光ファイバおよび第 2 の光ファイバを含む光ファイバ素子であって、

前記第 1 の光ファイバの融着接続前の信号光波長におけるモードフィールド径を値 D_{10} とし、前記第 2 の光ファイバの融着接続前の前記信号光波長におけるモードフィールド径を値 D_{20} としたときに、前記値 D_{10} が前記値 D_{20} より大きく、

前記値 D_{10} と前記値 D_{20} との差が $2 \mu m$ 以上であり、

前記融着点から距離 L (単位 mm) の位置における前記第 1 の光ファイバの前記信号光波長におけるモードフィールド径を $D_1(L)$ としたときに、

$$D_1(L) - D_{10} \geq 0.1 \mu m \text{ (ただし、} L \leq 3 \text{)}$$

$$D_1(L) - D_{10} \leq 0.1 \mu m \text{ (ただし、} L \geq 5 \text{)}$$

なる関係式を満たす、

ことを特徴とする光ファイバ素子。

【請求項 5】 融着点で互いに融着接続された第 1 の光ファイバおよび第 2 の光ファイバを含む光ファイバ素子であって、

前記第 1 の光ファイバの融着接続前の信号光波長におけるモードフィールド径を値 D_{10} とし、前記第 2 の光ファイバの融着接続前の前記信号光波長におけるモードフィールド径を値 D_{20} としたときに、前記値 D_{10} が前記値 D_{20} より大きく、前記値 D_{10} と前記値 D_{20} との差が $2 \mu m$ 以下であり、

前記融着点から距離 L (単位 mm) の位置における前記第 1 の光ファイバの前記信号光波長におけるモードフィールド径を $D_1(L)$ としたときに、

$$D_1(L) - D_{10} \geq 0.1 \mu m \text{ (ただし、} L \leq 1.5 \text{)}$$

$$D_1(L) - D_{10} \leq 0.1 \mu m \text{ (ただし、} L \geq 3.0 \text{)}$$

なる関係式を満たす、

ことを特徴とする光ファイバ素子。

【請求項 6】 前記値 D_{10} および前記値 D_{20} の何れかが $2 \mu m$ 以上 $7 \mu m$ 以下であることを特徴とする請求項 1 ～ 5 の何れか 1 項に記載の光ファイバ素子。

【請求項 7】 前記値 D_{10} および前記値 D_{20} の何れかが $10 \mu m$ 以上 $14 \mu m$ 以下であることを特徴とする請求項 1 ～ 5 の何れか 1 項に記載の光ファイバ素子。

【請求項 8】 融着接続前の信号光波長における各々のモードフィールド径の差が $2 \mu m$ 以上である第 1 の光ファイバおよび第 2 の光ファイバが融着点で互いに融着接続された光ファイバ素子を製造する方法であって、

前記第 1 および前記第 2 の光ファイバそれぞれの端面を融着接続する融着工程と、

前記融着工程の後に、前記第 1 の光ファイバと前記第 2 の光ファイバとの融着点を含む前後 2 mm の範囲における最高温度と最低温度との差を 1 0 0 ℃以下として、前記範囲の前記第 1 および前記第 2 の光ファイバを加熱する加熱工程と、を備えることを特徴とする光ファイバ素子製造方法。

【請求項 9】 融着接続前の信号光波長における各々のモードフィールド径の差が 2 μ m 以下である第 1 の光ファイバおよび第 2 の光ファイバが融着点で互いに融着接続された光ファイバ素子を製造する方法であって、

前記第 1 および前記第 2 の光ファイバそれぞれの端面を融着接続する融着工程と、

前記融着工程の後に、前記第 1 の光ファイバと前記第 2 の光ファイバとの融着点を含む前後 1 mm の範囲における最高温度と最低温度との差を 1 0 0 ℃以下として、前記範囲の前記第 1 および前記第 2 の光ファイバを加熱する加熱工程と、を備えることを特徴とする光ファイバ素子製造方法。

【請求項 1 0】 融着接続前の信号光波長における各々のモードフィールド径の差が 2 μ m 以上である第 1 の光ファイバおよび第 2 の光ファイバが融着点で互いに融着接続された光ファイバ素子を製造する方法であって、

前記第 1 および前記第 2 の光ファイバそれぞれの端面を融着接続する融着工程と、

前記融着工程の後に、前記第 1 の光ファイバと前記第 2 の光ファイバとの融着点からの距離が 1 . 0 mm 以下である位置を最高温度として、前記融着点を含む所定の範囲の前記第 1 および前記第 2 の光ファイバを加熱する加熱工程と、を備えることを特徴とする光ファイバ素子製造方法。

【請求項 1 1】 融着接続前の信号光波長における各々のモードフィールド径の差が 2 μ m 以下である第 1 の光ファイバおよび第 2 の光ファイバが融着点で互いに融着接続された光ファイバ素子を製造する方法であって、

前記第 1 および前記第 2 の光ファイバそれぞれの端面を融着接続する融着工程と、

前記融着工程の後に、前記第 1 の光ファイバと前記第 2 の光ファイバとの融着点からの距離が 0 . 5 mm 以下である位置を最高温度として、前記融着点を含む

所定の範囲の前記第 1 および前記第 2 の光ファイバを加熱する加熱工程と、
を備えることを特徴とする光ファイバ素子製造方法。

【請求項 1 2】 前記加熱工程において、可燃性ガスおよび酸素ガスをマイクロトーチに供給して形成した火炎を用いて前記範囲の前記第 1 および前記第 2 の光ファイバを加熱することを特徴とする請求項 8 ～ 1 1 の何れか 1 項に記載の光ファイバ素子製造方法。

【請求項 1 3】 前記加熱工程において、電気ヒータを用いて前記範囲の前記第 1 および前記第 2 の光ファイバを加熱することを特徴とする請求項 8 ～ 1 1 の何れか 1 項に記載の光ファイバ素子製造方法。

【発明の詳細な説明】

【 0 0 0 1 】

【発明の属する技術分野】

本発明は、融着点で互いに融着接続された第 1 の光ファイバおよび第 2 の光ファイバを含む光ファイバ素子、および、このような光ファイバ素子の製造方法に関するものである。

【 0 0 0 2 】

【従来の技術】

第 1 の光ファイバと第 2 の光ファイバとを互い接続するにはコネクタ接続と融着接続とがあるが、一般に、コネクタ接続より融着接続の方が融着点における接続損失が小さいことから、融着接続される場合が多い。本明細書で言う光ファイバ素子は、融着点で互いに融着接続された第 1 の光ファイバおよび第 2 の光ファイバを含むものであって、その大きさ又は長さを問わない。この光ファイバ素子は、例えば、正分散光ファイバと負分散光ファイバとが融着接続された光伝送路、モードフィールド径が大きい光ファイバの下流側にモードフィールド径が小さい光ファイバが融着接続された光伝送路、分散補償光ファイバの一端（又は両端）に標準的なシングルモード光ファイバが融着接続された分散補償モジュール、光導波領域に屈折率変調による回折格子が形成された光ファイバと他の光ファイバとが接続された光学部品、等を含む概念である。

【 0 0 0 3 】

特に、信号光波長（例えば、 $1.55\mu\text{m}$ や $1.3\mu\text{m}$ ）において第1および第2の光ファイバそれぞれの融着接続前のモードフィールド径が互いに略等しい場合には、光ファイバ素子の融着点における接続損失が小さい。しかし、第1および第2の光ファイバそれぞれの融着接続前のモードフィールド径が互いに異なる場合には、光ファイバ素子の融着点における接続損失が大きくなる。

【0004】

そこで、後者の場合には、融着工程の後に加熱工程を行うことで融着点における接続損失を小さくすることが行われている。すなわち、この加熱工程において、融着点を含む一定範囲の第1および第2の光ファイバそれぞれを加熱して、各光ファイバ（主成分が石英ガラス）に添加されている添加物（例えばGeやF等）を拡散させ、融着点において第1および第2の光ファイバそれぞれのモードフィールド径の差を小さくする。このようにすることで、光ファイバ素子の融着点における接続損失を小さくすることができる。

【0005】

例えば、特開平6-18726号公報に記載された融着工程後の加熱工程においては、融着点を含む一定範囲の第1および第2の光ファイバそれぞれを小型電気炉により加熱し、上記一定範囲における最高温度を $1500^{\circ}\text{C}\sim 1700^{\circ}\text{C}$ とし、小型電気炉の両端における加熱温度を 900°C 以下としている。また、特開平4-260007号公報に記載された融着工程後の加熱工程においては、融着点を含む一定範囲の第1および第2の光ファイバそれぞれをマイクロトーチにより加熱し、上記一定範囲における最高温度を $1300^{\circ}\text{C}\sim 1500^{\circ}\text{C}$ としている。これらの公報には、加熱工程後の融着点を含む一定範囲のモードフィールド径の分布が示されている。

【0006】

【発明が解決しようとする課題】

しかしながら、上記公報に記載されたものを含め従来の技術では、融着工程後の加熱工程を行ったとしても、光ファイバ素子の融着点における接続損失の低減は充分ではなかった。

【0007】

本発明は、上記問題点を解消する為になされたものであり、融着点における接続損失が更に小さい光ファイバ素子およびその製造方法を提供することを目的とする。

【 0 0 0 8 】

【課題を解決するための手段】

本発明に係る光ファイバ素子は、融着点で互いに融着接続された第1の光ファイバおよび第2の光ファイバを含む光ファイバ素子であって、第1の光ファイバの融着接続前の信号光波長におけるモードフィールド径を値 D_{10} とし、第2の光ファイバの融着接続前の信号光波長におけるモードフィールド径を値 D_{20} とし、融着点から距離 L （単位 mm ）の位置における第1の光ファイバの信号光波長におけるモードフィールド径を $D_1(L)$ とし、融着点から距離 L （単位 mm ）の位置における第2の光ファイバの信号光波長におけるモードフィールド径を $D_2(L)$ とする。

【 0 0 0 9 】

そして、本発明に係る光ファイバ素子は、値 D_{10} と値 D_{20} との差が $2\mu m$ 以上であり、

$$D_1(L) - D_{10} \leq 0.1\mu m \text{ (ただし、} L \geq 5)$$

$$D_2(L) - D_{20} \leq 0.1\mu m \text{ (ただし、} L \geq 5)$$

$$(D_1(0) - D_1(2)) / 2 \leq 1.5\mu m/mm$$

$$(D_2(0) - D_2(2)) / 2 \leq 1.5\mu m/mm$$

$$(D_1(0) - D_1(3)) / 3 \leq 2.5\mu m/mm$$

$$(D_2(0) - D_2(3)) / 3 \leq 2.5\mu m/mm$$

なる関係式を満たすことを特徴とする。

【 0 0 1 0 】

或いは、本発明に係る光ファイバ素子は、値 D_{10} と値 D_{20} との差が $2\mu m$ 以上であり、

$$D_1(L) - D_{10} \leq 0.1\mu m \text{ (ただし、} L \geq 5)$$

$$D_2(L) - D_{20} \leq 0.1\mu m \text{ (ただし、} L \geq 5)$$

$$(D_1(0) - D_1(2)) / 2 \leq 1.0\mu m/mm$$

$$(D_2(0) - D_2(2)) / 2 \leq 1.0 \mu\text{m/mm}$$

なる関係式を満たすことを特徴とする。

【 0 0 1 1 】

或いは、本発明に係る光ファイバ素子は、値 D_{10} と値 D_{20} との差が $2 \mu\text{m}$ 以下であり、

$$D_1(L) - D_{10} \leq 0.1 \mu\text{m} \quad (\text{ただし、} L \geq 3)$$

$$D_2(L) - D_{20} \leq 0.1 \mu\text{m} \quad (\text{ただし、} L \geq 3)$$

$$(D_1(0) - D_1(1)) / 1 \leq 1.5 \mu\text{m/mm}$$

$$(D_2(0) - D_2(1)) / 1 \leq 1.5 \mu\text{m/mm}$$

なる関係式を満たすことを特徴とする。

【 0 0 1 2 】

或いは、本発明に係る光ファイバ素子は、値 D_{10} が値 D_{20} より大きく、値 D_{10} と値 D_{20} との差が $2 \mu\text{m}$ 以上であり、

$$D_1(L) - D_{10} \geq 0.1 \mu\text{m} \quad (\text{ただし、} L \leq 3)$$

$$D_1(L) - D_{10} \leq 0.1 \mu\text{m} \quad (\text{ただし、} L \geq 5)$$

なる関係式を満たすことを特徴とする。

【 0 0 1 3 】

或いは、本発明に係る光ファイバ素子は、値 D_{10} が値 D_{20} より大きく、値 D_{10} と値 D_{20} との差が $2 \mu\text{m}$ 以下であり、

$$D_1(L) - D_{10} \geq 0.1 \mu\text{m} \quad (\text{ただし、} L \leq 1.5)$$

$$D_1(L) - D_{10} \leq 0.1 \mu\text{m} \quad (\text{ただし、} L \geq 3.0)$$

なる関係式を満たすことを特徴とする。

【 0 0 1 4 】

以上のように、本発明に係る光ファイバ素子は、融着接続前の第 1 の光ファイバのモードフィールド径 D_{10} と第 2 の光ファイバのモードフィールド径 D_{20} との差に応じて、融着接続後の第 1 の光ファイバのモードフィールド径 $D_1(L)$ の分布および第 2 の光ファイバのモードフィールド径 $D_2(L)$ の分布それぞれが適切に設定されていることにより、融着点における接続損失が更に小さいものとなる。

【 0 0 1 5 】

また、本発明に係る光ファイバ素子は、値 D_{10} および値 D_{20} の何れかが $2\mu\text{m}$ 以上 $7\mu\text{m}$ 以下であることを特徴とする。このように融着接続前のモードフィールド径が小さい場合には、接続損失を充分には低減できないことがあるが、各光ファイバのモードフィールド径の分布が上記のように設定されることで、融着点における接続損失が充分に低減される。

【 0 0 1 6 】

また、本発明に係る光ファイバ素子は、値 D_{10} および値 D_{20} の何れかが $10\mu\text{m}$ 以上 $14\mu\text{m}$ 以下であることを特徴とする。このように融着接続前のモードフィールド径が大きい場合には、モードフィールド径の不整合が起こり易いが、各光ファイバのモードフィールド径の分布が上記のように設定されることで、融着点における接続損失が充分に低減される。

【 0 0 1 7 】

本発明に係る光ファイバ素子製造方法は、第1の光ファイバおよび第2の光ファイバが融着点で互いに融着接続された光ファイバ素子を製造する方法であって、第1および第2の光ファイバそれぞれの端面を融着接続する融着工程と、この融着工程の後に第1の光ファイバと第2の光ファイバとの融着点を含む所定範囲を加熱する加熱工程と、を備える。

【 0 0 1 8 】

そして、本発明に係る光ファイバ素子製造方法は、融着接続前の信号光波長における各々のモードフィールド径の差が $2\mu\text{m}$ 以上であるときに、加熱工程において、第1の光ファイバと第2の光ファイバとの融着点を含む前後 2mm の範囲における最高温度と最低温度との差を 100°C 以下として、上記範囲の第1および第2の光ファイバを加熱することを特徴とする。

【 0 0 1 9 】

或いは、本発明に係る光ファイバ素子製造方法は、融着接続前の信号光波長における各々のモードフィールド径の差が $2\mu\text{m}$ 以下であるときに、加熱工程において、第1の光ファイバと第2の光ファイバとの融着点を含む前後 1mm の範囲における最高温度と最低温度との差を 100°C 以下として、上記範囲の第1およ

び第2の光ファイバを加熱することを特徴とする。

【0020】

或いは、本発明に係る光ファイバ素子製造方法は、融着接続前の信号光波長における各々のモードフィールド径の差が $2\mu\text{m}$ 以上であるときに、加熱工程において、第1の光ファイバと第2の光ファイバとの融着点からの距離が 1.0mm 以下である位置を最高温度として、融着点を含む所定の範囲の第1および第2の光ファイバを加熱することを特徴とする。

【0021】

或いは、本発明に係る光ファイバ素子製造方法は、融着接続前の信号光波長における各々のモードフィールド径の差が $2\mu\text{m}$ 以下であるときに、加熱工程において、第1の光ファイバと第2の光ファイバとの融着点からの距離が 0.5mm 以下である位置を最高温度として、融着点を含む所定の範囲の第1および第2の光ファイバを加熱することを特徴とする。

【0022】

以上のように、本発明に係る光ファイバ素子製造方法では、融着接続前の第1の光ファイバのモードフィールド径 D_{10} と第2の光ファイバのモードフィールド径 D_{20} との差に応じて、融着工程後の加熱工程の際の各光ファイバの温度分布が適切に設定されていることにより、製造される光ファイバ素子の融着点における接続損失が更に小さいものとなる。

【0023】

本発明に係る光ファイバ素子製造方法は、加熱工程において、可燃性ガスおよび酸素ガスをマイクロトーチに供給して形成した火炎を用いて範囲の第1および第2の光ファイバを加熱することを特徴とする。或いは、加熱工程において、電気ヒータを用いて範囲の第1および第2の光ファイバを加熱することを特徴とする。何れの場合にも、融着工程後の加熱工程の際の各光ファイバの温度分布を適切に設定する上で好適である。

【0024】

【発明の実施の形態】

以下、添付図面を参照して本発明の実施の形態を詳細に説明する。なお、図面

の説明において同一の要素には同一の符号を付し、重複する説明を省略する。

【 0 0 2 5 】

先ず、本発明に係る光ファイバ素子の実施形態について説明する。図 1 は、本実施形態に係る光ファイバ素子 1 の説明図である。この図に示すように、光ファイバ素子 1 は、融着点 3 0 で互いに融着接続された第 1 の光ファイバ 1 0 および第 2 の光ファイバ 2 0 を含んでいる。この図において、第 1 の光ファイバ 1 0 および第 2 の光ファイバ 2 0 それぞれの内部にある破線は、信号光波長におけるモードフィールド径を示している。第 1 の光ファイバ 1 0 の融着接続前の信号光波長におけるモードフィールド径を値 D_{10} とし、第 2 の光ファイバ 2 0 の融着接続前の信号光波長におけるモードフィールド径を値 D_{20} とする。また、融着点 3 0 から距離 L (単位 mm) の位置における第 1 の光ファイバ 1 0 の信号光波長におけるモードフィールド径を $D_1(L)$ とし、融着点 3 0 から距離 L (単位 mm) の位置における第 2 の光ファイバ 2 0 の信号光波長におけるモードフィールド径を $D_2(L)$ とする。そして、本実施形態に係る光ファイバ素子 1 は、融着接続前の第 1 の光ファイバ 1 0 のモードフィールド径 D_{10} と第 2 の光ファイバ 2 0 のモードフィールド径 D_{20} との差に応じて、融着接続後の第 1 の光ファイバ 1 0 のモードフィールド径 $D_1(L)$ の分布および第 2 の光ファイバ 2 0 のモードフィールド径 $D_2(L)$ の分布それぞれが適切に設定されていることにより、融着点 3 0 における接続損失が更に小さいものとなっている。具体的には以下のとおりである。

【 0 0 2 6 】

本実施形態に係る光ファイバ素子 1 は、第 1 の光ファイバ 1 0 および第 2 の光ファイバ 2 0 それぞれの融着接続前のモードフィールド径 D_{10} , D_{20} の差が $2 \mu m$ 以上であるときには、

$$D_1(L) - D_{10} \leq 0.1 \mu m \quad (\text{ただし、} L \geq 5) \quad \dots (1a)$$

$$D_2(L) - D_{20} \leq 0.1 \mu m \quad (\text{ただし、} L \geq 5) \quad \dots (1b)$$

$$(D_1(0) - D_1(2)) / 2 \leq 1.5 \mu m / mm \quad \dots (1c)$$

$$(D_2(0) - D_2(2)) / 2 \leq 1.5 \mu m / mm \quad \dots (1d)$$

$$(D_1(0) - D_1(3)) / 3 \leq 2.5 \mu m / mm \quad \dots (1e)$$

$$(D_2(0) - D_2(3)) / 3 \leq 2.5 \mu m / mm \quad \dots (1f)$$

なる関係式を満たす。すなわち、第1の光ファイバ10および第2の光ファイバ20それぞれにおいて、融着接続後のモードフィールド径と融着接続前のモードフィールド径との差が $0.1\mu\text{m}$ 以下になる点が、融着点30からの距離 L が 5mm 以下である範囲にある((1a)式, (1b)式)。融着点30からの距離 L が 2mm である位置と融着点30との間において、モードフィールド径の平均変化率が $1.5\mu\text{m}/\text{mm}$ 以下である((1c)式, (1d)式)。また、融着点30からの距離 L が 3mm である位置と融着点30との間において、モードフィールド径の平均変化率が $2.5\mu\text{m}/\text{mm}$ 以下である((1e)式, (1f)式)。

【0027】

或いは、本実施形態に係る光ファイバ素子1は、第1の光ファイバ10および第2の光ファイバ20それぞれの融着接続前のモードフィールド径 D_{10} , D_{20} の差が $2\mu\text{m}$ 以上であるときには、

$$D_1(L) - D_{10} \leq 0.1\mu\text{m} \quad (\text{ただし、} L \geq 5) \quad \dots (2a)$$

$$D_2(L) - D_{20} \leq 0.1\mu\text{m} \quad (\text{ただし、} L \geq 5) \quad \dots (2b)$$

$$(D_1(0) - D_1(2)) / 2 \leq 1.0\mu\text{m}/\text{mm} \quad \dots (2c)$$

$$(D_2(0) - D_2(2)) / 2 \leq 1.0\mu\text{m}/\text{mm} \quad \dots (2d)$$

なる関係式を満たす。すなわち、第1の光ファイバ10および第2の光ファイバ20それぞれにおいて、融着接続後のモードフィールド径と融着接続前のモードフィールド径との差が $0.1\mu\text{m}$ 以下になる点が、融着点30からの距離 L が 5mm 以下である範囲にある((2a)式, (2b)式)。また、融着点30からの距離 L が 2mm である位置と融着点30との間において、モードフィールド径の平均変化率が $1.0\mu\text{m}/\text{mm}$ 以下である((2c)式, (2d)式)。

【0028】

或いは、本実施形態に係る光ファイバ素子1は、第1の光ファイバ10および第2の光ファイバ20それぞれの融着接続前のモードフィールド径 D_{10} , D_{20} の差が $2\mu\text{m}$ 以下であるときには、

$$D_1(L) - D_{10} \leq 0.1\mu\text{m} \quad (\text{ただし、} L \geq 3) \quad \dots (3a)$$

$$D_2(L) - D_{20} \leq 0.1\mu\text{m} \quad (\text{ただし、} L \geq 3) \quad \dots (3b)$$

$$(D_1(0) - D_1(1)) / 1 \leq 1.5\mu\text{m}/\text{mm} \quad \dots (3c)$$

$$(D_2(0) - D_2(1)) / 1 \leq 1.5 \mu\text{m/mm} \quad \dots (3d)$$

なる関係式を満たす。すなわち、第1の光ファイバ10および第2の光ファイバ20それぞれにおいて、融着接続後のモードフィールド径と融着接続前のモードフィールド径との差が $0.1 \mu\text{m}$ 以下になる点が、融着点30からの距離 L が 3 mm 以下である範囲にある（(3a)式, (3b)式）。また、融着点30からの距離 L が 1 mm である位置と融着点30との間において、モードフィールド径の平均変化率が $1.5 \mu\text{m/mm}$ 以下である（(3c)式, (3d)式）。

【0029】

或いは、本実施形態に係る光ファイバ素子1は、第1の光ファイバ10および第2の光ファイバ20それぞれの融着接続前のモードフィールド径 D_{10} , D_{20} の差が $2 \mu\text{m}$ 以上であって、値 D_{10} が値 D_{20} より大きいときには、

$$D_1(L) - D_{10} \geq 0.1 \mu\text{m} \quad (\text{ただし、} L \leq 3) \quad \dots (4a)$$

$$D_1(L) - D_{10} \leq 0.1 \mu\text{m} \quad (\text{ただし、} L \geq 5) \quad \dots (4b)$$

なる関係式を満たす。すなわち、融着接続前のモードフィールド径が大きい第1の光ファイバ10において、融着接続後のモードフィールド径と融着接続前のモードフィールド径との差が $0.1 \mu\text{m}$ 以下になる点が、融着点30からの距離 L が 3 mm 以上 5 mm 以下である範囲にある（(4a)式, (4b)式）。

【0030】

或いは、本実施形態に係る光ファイバ素子1は、第1の光ファイバ10および第2の光ファイバ20それぞれの融着接続前のモードフィールド径 D_{10} , D_{20} の差が $2 \mu\text{m}$ 以上であって、値 D_{10} が値 D_{20} より大きいときには、

$$D_1(L) - D_{10} \geq 0.1 \mu\text{m} \quad (\text{ただし、} L \leq 1.5) \quad \dots (5a)$$

$$D_1(L) - D_{10} \leq 0.1 \mu\text{m} \quad (\text{ただし、} L \geq 3.0) \quad \dots (5b)$$

なる関係式を満たす。すなわち、融着接続前のモードフィールド径が大きい第1の光ファイバ10において、融着接続後のモードフィールド径と融着接続前のモードフィールド径との差が $0.1 \mu\text{m}$ 以下になる点が、融着点30からの距離 L が 1.5 mm 以上 3.0 mm 以下である範囲にある（(5a)式, (5b)式）。

【0031】

融着接続前のモードフィールド径 D_{10} および D_{20} の何れかが $2 \mu\text{m}$ 以上 $7 \mu\text{m}$

以下である場合には、接続損失を充分には低減できないことがあるが、各光ファイバのモードフィールド径の分布が上記のように設定されることで、融着点30における接続損失が充分に低減されることになる。また、融着接続前のモードフィールド径 D_{10} および D_{20} の何れかが $10\mu\text{m}$ 以上 $14\mu\text{m}$ 以下である場合には、モードフィールド径の不整合が起こり易いが、各光ファイバのモードフィールド径の分布が上記のように設定されることで、融着点30における接続損失が充分に低減されることになる。

【0032】

次に、本発明に係る光ファイバ素子製造方法の実施形態について説明する。先ず、第1の光ファイバ10および第2の光ファイバ20を用意し、各々の融着接続すべき端部近傍の被覆を除去する。そして、融着工程において、第1の光ファイバ10および第2の光ファイバ20それぞれの光軸が同一直線上になるように各光ファイバの軸合せを行い、各光ファイバの端面を互いに突き合わせて融着接続する。この融着工程においては、互いに突き合わせた各端面が一对の電極の間に位置するように各光ファイバを配置して、この一对の電極の間のアーク放電により第1の光ファイバ10および第2の光ファイバ20それぞれの端面を融着接続する。

【0033】

この融着工程の後に加熱工程を行う。この加熱工程では、可燃性ガス（例えばプロパンガス）および酸素ガスをマイクロトーチに供給して形成した火炎、電気ヒータまたは CO_2 レーザ等を用いて、融着点30を含む所定範囲を加熱する。この加熱工程により、各光ファイバ（主成分が石英ガラス）に添加されている添加物（例えばGeやF等）を拡散させ、融着点30において第1の光ファイバ10および第2の光ファイバ20それぞれのモードフィールド径 $D_1(0)$ 、 $D_2(0)$ の差を小さくする。このようにすることで、光ファイバ素子1の融着点30における接続損失を小さくすることができる。この加熱工程の後に、再被覆を行い、必要に応じて金属等で補強する。以上により光ファイバ素子1が製造される。

【0034】

本実施形態に係る光ファイバ素子製造方法では、融着接続前の第1の光ファイ

バ 1 0 のモードフィールド径 D_{10} と第 2 の光ファイバ 2 0 のモードフィールド径 D_{20} との差に応じて、加熱工程の際の各光ファイバの温度分布が適切に設定されていることにより、製造された光ファイバ素子 1 の融着点 3 0 における接続損失が更に小さいものとなる。具体的には以下のとおりである。

【 0 0 3 5 】

本実施形態に係る光ファイバ素子製造方法における加熱工程では、第 1 の光ファイバ 1 0 および第 2 の光ファイバ 2 0 それぞれの融着接続前のモードフィールド径 D_{10} 、 D_{20} の差が $2 \mu\text{m}$ 以上であるときに、融着点 3 0 を含む前後 2 mm の範囲における最高温度と最低温度との差を 100°C 以下として（図 2 を参照）、融着点 3 0 を含む所定範囲の第 1 の光ファイバ 1 0 および第 2 の光ファイバ 2 0 を加熱する。

【 0 0 3 6 】

或いは、本実施形態に係る光ファイバ素子製造方法における加熱工程では、第 1 の光ファイバ 1 0 および第 2 の光ファイバ 2 0 それぞれの融着接続前のモードフィールド径 D_{10} 、 D_{20} の差が $2 \mu\text{m}$ 以下であるときに、融着点 3 0 を含む前後 1 mm の範囲における最高温度と最低温度との差を 100°C 以下として（図 3 を参照）、融着点 3 0 を含む所定範囲の第 1 の光ファイバ 1 0 および第 2 の光ファイバ 2 0 を加熱する。

【 0 0 3 7 】

或いは、本実施形態に係る光ファイバ素子製造方法における加熱工程では、第 1 の光ファイバ 1 0 および第 2 の光ファイバ 2 0 それぞれの融着接続前のモードフィールド径 D_{10} 、 D_{20} の差が $2 \mu\text{m}$ 以上であるときに、融着点 3 0 からの距離 L が 1.0 mm 以下である位置を最高温度として（図 2 を参照）、融着点 3 0 を含む所定範囲の第 1 の光ファイバ 1 0 および 2 の光ファイバ 2 0 を加熱する。

【 0 0 3 8 】

或いは、本実施形態に係る光ファイバ素子製造方法における加熱工程では、第 1 の光ファイバ 1 0 および第 2 の光ファイバ 2 0 それぞれの融着接続前のモードフィールド径 D_{10} 、 D_{20} の差が $2 \mu\text{m}$ 以下であるときに、融着点 3 0 からの距離 L が 0.5 mm 以下である位置を最高温度として（図 3 を参照）、融着点 3 0 を

含む所定範囲の第 1 の光ファイバ 1 0 および 2 の光ファイバ 2 0 を加熱する。

【 0 0 3 9 】

以上のように加熱工程の際の温度分布を適切に設定するには、マイクロトーチや電気ヒータ等の加熱源の構造、マイクロトーチに供給する各ガスの流量、加熱源と各光ファイバとの間の距離、等を調整することで可能である。また、加熱工程の際に第 1 の光ファイバ 1 0 および第 2 の光ファイバ 2 0 それぞれにおける長手方向の温度分布を測定するには、非接触式の温度計が好適に用いられ、例えば赤外放射温度計が用いられる。この赤外放射温度計が用いられる場合、各光ファイバと赤外放射温度計との間に拡大レンズが配置される。また、各光ファイバが石英ガラスを主成分としていて円柱形であることから放射率は 0. 5 とされる。なお、一般に、加熱源としてマイクロトーチや電気ヒータが用いられる場合には、赤外放射温度計により測定される温度分布は、温度が最大値となる或る位置から両側に向かって単調に減少する形状となる。

【 0 0 4 0 】

加熱工程の際の加熱温度は、各光ファイバの主成分が軟化しない温度であることが必要である。各光ファイバの主成分が石英ガラスである場合には、赤外放射温度計で測定された各光ファイバの各位置の温度が約 1 3 0 0 ℃ 以下であることが必要である。また、各光ファイバにおいてモードフィールド径を拡大させるべき位置における加熱温度は、各光ファイバに添加された添加物が拡散し得る温度であることが必要である。添加物が Ge や F である場合には、赤外放射温度計で測定された温度が約 5 0 0 ℃ 以上であることが必要である。

【 0 0 4 1 】

このような加熱工程を経て製造される光ファイバ素子 1 は、第 1 の光ファイバ 1 0 および第 2 の光ファイバ 2 0 それぞれの融着接続前のモードフィールド径 D_{10} 、 D_{20} の差が $2 \mu m$ 以上であるときには上記の (1) 式、(2) 式および (4) 式の何れかを容易に満たすことができ、第 1 の光ファイバ 1 0 および第 2 の光ファイバ 2 0 それぞれの融着接続前のモードフィールド径 D_{10} 、 D_{20} の差が $2 \mu m$ 以下であるときには上記の (3) 式および (5) 式の何れかを容易に満たすことができる。

【 0 0 4 2 】

製造された光ファイバ素子 1 において融着点 3 0 の近傍でモードフィールド径が拡大しているか否か（すなわち、添加物が拡散しているか否か）は、以下のようにして確認する。融着点 3 0 から距離 L の位置で第 1 の光ファイバ 1 0 および第 2 の光ファイバ 2 0 それぞれを切断して、その切断した端面から出射される光のニアフィールドパターンを測定し、このニアフィールドパターンに基づいて該端面でのモードフィールド径 $D_1(L)$, $D_2(L)$ を求める。距離 L の各値の位置で順次に第 1 の光ファイバ 1 0 および第 2 の光ファイバ 2 0 それぞれを切断して、その切断した端面でのモードフィールド径 $D_1(L)$, $D_2(L)$ を求めることで、モードフィールドの分布を求めることができる。或いは、切断した端面における各添加物の分布を EPMA 等により分析して、この分析結果に基づいて、添加物が拡散しているか否かを確認することができる。

【 0 0 4 3 】

次に、本実施形態に係る光ファイバ素子およびその製造方法の実施例について説明する。

【 0 0 4 4 】

第 1 実施例では、融着接続前のモードフィールド径 D_{10} , D_{20} の差が $2 \mu\text{m}$ 以上（すなわち、 $D_{10} - D_{20} \geq 2 \mu\text{m}$ ）である第 1 の光ファイバ 1 0 および第 2 の光ファイバ 2 0 を融着した後に、融着点 3 0 を含む所定範囲をマイクロトーチにより加熱した。製造された複数の光ファイバ素子 1 それぞれについて、距離 $L = 0$, $L = 2 \text{ mm}$, $L = 3 \text{ mm}$ それぞれの位置で切断してモードフィールド径 $D_1(0)$, $D_2(0)$, $D_1(2)$, $D_2(2)$, $D_1(3)$, $D_2(3)$ を求めた。また、融着点 3 0 からの距離 L の各値（ 0.1 mm ピッチ）の位置まで順次に研磨してモードフィールド径 $D_1(L)$, $D_2(L)$ を測定して、 $D_1(L) - D_{10}$ の値が $0.1 \mu\text{m}$ 以下となる距離 L 、および、 $D_2(L) - D_{20}$ の値が $0.1 \mu\text{m}$ 以下となる距離 L を求めた。

【 0 0 4 5 】

図 4 は、第 1 実施例の各光ファイバ素子のモードフィールド径等について纏めた図表である。この表には左から順に、実施例の各光ファイバ素子の識別番号、および、融着点 3 0 でのモードフィールド径 $D_1(0)$, $D_2(0)$ が示されている。続いて、第 1 の光ファイバ 1 0 について、融着接続前のモードフィールド径 D_{10} 、

距離 $L = 2 \text{ mm}$ の位置でのモードフィールド径 $D_1(2)$ 、融着点 3 0 と距離 $L = 2 \text{ mm}$ の位置と間におけるモードフィールド径の平均変化率 $((D_1(0) - D_1(2)) / 2)$ 、距離 $L = 3 \text{ mm}$ の位置でのモードフィールド径 $D_1(3)$ 、および、融着点 3 0 と距離 $L = 3 \text{ mm}$ の位置と間におけるモードフィールド径の平均変化率 $((D_1(0) - D_1(3)) / 3)$ が示されている。続いて、第 2 の光ファイバ 2 0 について、融着接続前のモードフィールド径 D_{20} 、距離 $L = 2 \text{ mm}$ の位置でのモードフィールド径 $D_2(2)$ 、融着点 3 0 と距離 $L = 2 \text{ mm}$ の位置と間におけるモードフィールド径の平均変化率 $((D_2(0) - D_2(2)) / 2)$ 、距離 $L = 3 \text{ mm}$ の位置でのモードフィールド径 $D_2(3)$ 、融着点 3 0 と距離 $L = 3 \text{ mm}$ の位置と間におけるモードフィールド径の平均変化率 $((D_2(0) - D_2(3)) / 3)$ 、および、 $D_2(L) - D_{20}$ の値が $0.1 \mu\text{m}$ 以下となる距離 L_2 が示されている。また、この表の最も右には、融着点 3 0 における接続損失が示されている。この図 4 から判るように、光ファイバ素子は、上記(1)式、(2)式または(4)式を満たす場合には、接続損失が凡そ 0.2 dB 以下であって小さい。

【 0 0 4 6 】

第 2 実施例では、融着接続前のモードフィールド径 D_{10} 、 D_{20} の差が $2 \mu\text{m}$ 以下（すなわち、 $0 \leq D_{10} - D_{20} \leq 2 \mu\text{m}$ ）である第 1 の光ファイバ 1 0 および第 2 の光ファイバ 2 0 を融着した後に、融着点 3 0 を含む所定範囲をマイクロトーチにより加熱した。そして、第 1 実施例の場合と同様にして、製造された複数の光ファイバ素子 1 それぞれについて、モードフィールド径 $D_1(0)$ 、 $D_2(0)$ 、 $D_1(1)$ 、 $D_2(1)$ を求め、また、 $D_1(L) - D_{10}$ の値が $0.1 \mu\text{m}$ 以下となる距離 L 、および、 $D_2(L) - D_{20}$ の値が $0.1 \mu\text{m}$ 以下となる距離 L を求めた。

【 0 0 4 7 】

図 5 は、第 2 実施例の各光ファイバ素子のモードフィールド径等について纏めた図表である。この表には左から順に、実施例の各光ファイバ素子の識別番号、および、融着点 3 0 でのモードフィールド径 $D_1(0)$ 、 $D_2(0)$ が示されている。続いて、第 1 の光ファイバ 1 0 について、融着接続前のモードフィールド径 D_{10} 、距離 $L = 1 \text{ mm}$ の位置でのモードフィールド径 $D_1(1)$ 、および、融着点 3 0 と距離 $L = 1 \text{ mm}$ の位置と間におけるモードフィールド径の平均変化率 $((D_1(0) -$

$D_1(1)/1$ が示されている。続いて、第 2 の光ファイバ 2 0 について、融着接続前のモードフィールド径 D_{20} 、距離 $L = 1 \text{ mm}$ の位置でのモードフィールド径 $D_2(1)$ 、融着点 3 0 と距離 $L = 1 \text{ mm}$ の位置と間におけるモードフィールド径の平均変化率 $((D_2(0) - D_2(1))/1)$ 、および、 $D_2(L) - D_{20}$ の値が $0.1 \mu\text{m}$ 以下となる距離 L_2 が示されている。また、この表の最も右には、融着点 3 0 における接続損失が示されている。この図 5 から判るように、光ファイバ素子は、上記 (3) 式または (5) 式を満たす場合には、接続損失が凡そ 0.2 dB 以下であって小さい。

【 0 0 4 8 】

第 3 実施例では、融着接続前のモードフィールド径 D_{10} 、 D_{20} の差が $2 \mu\text{m}$ 以上（すなわち、 $D_{10} - D_{20} \geq 2 \mu\text{m}$ ）である第 1 の光ファイバ 1 0 および第 2 の光ファイバ 2 0 を融着した後に、融着点 3 0 を含む所定範囲をマイクロトーチにより加熱した。マイクロトーチにはプロパンガスおよび酸素ガスを供給した。マイクロトーチによる加熱の際に、赤外放射温度計を用いて各光ファイバにおける温度分布を測定した。また、加熱後に融着点 3 0 における接続損失を測定した。

【 0 0 4 9 】

図 6 は、第 3 実施例の各光ファイバ素子の製造の際における温度分布および接続損失について纏めた図表である。この表には左から順に、実施例の各光ファイバ素子の識別番号、加熱中の融着点 3 0 における温度、加熱中の第 1 の光ファイバ 1 0 の距離 $L = 2 \text{ mm}$ の位置における温度、加熱中の第 2 の光ファイバ 1 0 の距離 $L = 2 \text{ mm}$ の位置における温度、加熱中の融着点 3 0 を含む前後 2 mm の範囲における最高温度と最低温度との差、および、加熱後の融着点 3 0 における接続損失が示されている。この図 6 から判るように、加熱中の融着点 3 0 を含む前後 2 mm の範囲における最高温度と最低温度との差が 100°C 以下であれば、接続損失が凡そ 0.2 dB 以下であって小さい。

【 0 0 5 0 】

第 4 実施例では、融着接続前のモードフィールド径 D_{10} 、 D_{20} の差が $2 \mu\text{m}$ 以下（すなわち、 $0 \leq D_{10} - D_{20} \leq 2 \mu\text{m}$ ）である第 1 の光ファイバ 1 0 および第 2 の光ファイバ 2 0 を融着した後に、融着点 3 0 を含む所定範囲をマイクロトーチ

チにより加熱した。マイクロトーチにはプロパンガスおよび酸素ガスを供給した。マイクロトーチによる加熱の際に、赤外放射温度計を用いて各光ファイバにおける温度分布を測定した。また、加熱後に融着点 3 0 における接続損失を測定した。

【 0 0 5 1 】

図 7 は、第 4 実施例の各光ファイバ素子の製造の際における温度分布および接続損失について纏めた図表である。この表には左から順に、実施例の各光ファイバ素子の識別番号、加熱中の融着点 3 0 における温度、加熱中の第 1 の光ファイバ 1 0 の距離 $L = 1 \text{ mm}$ の位置における温度、加熱中の第 2 の光ファイバ 1 0 の距離 $L = 1 \text{ mm}$ の位置における温度、加熱中の融着点 3 0 を含む前後 1 mm の範囲における最高温度と最低温度との差、および、加熱後の融着点 3 0 における接続損失が示されている。この図 7 から判るように、加熱中の融着点 3 0 を含む前後 1 mm の範囲における最高温度と最低温度との差が 100°C 以下であれば、接続損失が凡そ 0.2 dB 以下であって小さい。

【 0 0 5 2 】

第 5 実施例では、融着接続前のモードフィールド径 D_{10} 、 D_{20} の差が $2 \mu\text{m}$ 以上（すなわち、 $D_{10} - D_{20} \geq 2 \mu\text{m}$ ）である第 1 の光ファイバ 1 0 および第 2 の光ファイバ 2 0 を融着した後に、融着点 3 0 を含む所定範囲をマイクロトーチにより加熱した。マイクロトーチにはプロパンガスおよび酸素ガスを供給した。各光ファイバの光軸方向について融着点 3 0 に対するマイクロトーチの相対的位置を種々設定して、マイクロトーチによる加熱の際に赤外放射温度計を用いて各光ファイバにおける温度分布を測定し、最高温度となる位置（融着点 3 0 からの距離 L ）、融着点 3 0 における加熱温度、および、融着点 3 0 からの距離 $L = 1 \text{ mm}$ の位置における加熱温度を求めた。また、加熱後に融着点 3 0 における接続損失を測定した。

【 0 0 5 3 】

図 8 は、第 5 実施例の各光ファイバ素子の製造の際における温度分布および接続損失について纏めた図表である。この表には左から順に、実施例の各光ファイバ素子の識別番号、加熱温度が最大となる位置（ただし、値が負の場合には第 2

の光ファイバ20の側、値が正の場合には第1の光ファイバ10の側)、融着点30における加熱温度、融着点30からの距離 $L = 1\text{ mm}$ の位置における加熱温度、および、加熱後の融着点30における接続損失が示されている。この図8から判るように、融着点30からの距離 L が 1.0 mm 以下である位置を最高温度とすれば、接続損失が凡そ 0.2 dB 以下であって小さい。

【0054】

第6実施例では、融着接続前のモードフィールド径 D_{10} 、 D_{20} の差が $2\text{ }\mu\text{ m}$ 以下(すなわち、 $0 \leq D_{10} - D_{20} \leq 2\text{ }\mu\text{ m}$)である第1の光ファイバ10および第2の光ファイバ20を融着した後に、融着点30を含む所定範囲をマイクロトーチにより加熱した。マイクロトーチにはプロパンガスおよび酸素ガスを供給した。各光ファイバの光軸方向について融着点30に対するマイクロトーチの相対的位置を種々設定して、マイクロトーチによる加熱の際に赤外放射温度計を用いて各光ファイバにおける温度分布を測定し、最高温度となる位置(融着点30からの距離 L)、融着点30における加熱温度、および、融着点からの距離 $L = 1\text{ mm}$ の位置における加熱温度を求めた。また、加熱後に融着点30における接続損失を測定した。

【0055】

図9は、第6実施例の各光ファイバ素子の製造の際における温度分布および接続損失について纏めた図表である。この表には左から順に、実施例の各光ファイバ素子の識別番号、加熱温度が最大となる位置(ただし、値が負の場合には第2の光ファイバ20の側、値が正の場合には第1の光ファイバ10の側)、融着点30における加熱温度、融着点30からの距離 $L = 1\text{ mm}$ の位置における加熱温度、および、加熱後の融着点30における接続損失が示されている。この図9から判るように、融着点30からの距離 L が 0.5 mm 以下である位置を最高温度とすれば、接続損失が凡そ 0.2 dB 以下であって小さい。

【0056】

第7実施例では、融着接続前のモードフィールド径 D_{10} 、 D_{20} の差が $2\text{ }\mu\text{ m}$ 以上(すなわち、 $D_{10} - D_{20} \geq 2\text{ }\mu\text{ m}$)である第1の光ファイバ10および第2の光ファイバ20を融着した後に、融着点30を含む所定範囲を電気ヒータを用い

て加熱した。そして、前述の第 3 実施例および第 5 実施例それぞれと同様の処理を行った。図 1 0 は、第 7 実施例（第 3 実施例と同様の処理を行った場合）の各光ファイバ素子の製造の際における温度分布および接続損失について纏めた図表である。図 1 1 は、第 7 実施例（第 5 実施例と同様の処理を行った場合）の各光ファイバ素子の製造の際における温度分布および接続損失について纏めた図表である。これらの図から判るように、マイクロトーチを用いる場合と同様に電気ヒータを用いる場合にも、加熱中の融着点 3 0 を含む前後 2 m m の範囲における最高温度と最低温度との差が 1 0 0 °C 以下であれば、接続損失が凡そ 0 . 2 d B 以下であって小さい。また、融着点 3 0 からの距離 L が 1 . 0 m m 以下である位置を最高温度とすれば、接続損失が凡そ 0 . 2 d B 以下であって小さい。

【 0 0 5 7 】

【発明の効果】

以上、詳細に説明したとおり、本発明に係る光ファイバ素子は、融着接続前の第 1 の光ファイバのモードフィールド径 D_{10} と第 2 の光ファイバのモードフィールド径 D_{20} との差に応じて、融着接続後の第 1 の光ファイバのモードフィールド径 $D_1(L)$ の分布および第 2 の光ファイバのモードフィールド径 $D_2(L)$ の分布それぞれが適切に設定されていることにより、融着点における接続損失が更に小さいものとなる。

【 0 0 5 8 】

また、本発明に係る光ファイバ素子製造方法では、融着接続前の第 1 の光ファイバのモードフィールド径 D_{10} と第 2 の光ファイバのモードフィールド径 D_{20} との差に応じて、融着工程後の加熱工程の際の各光ファイバの温度分布が適切に設定されていることにより、製造される光ファイバ素子の融着点における接続損失が更に小さいものとなる。

【図面の簡単な説明】

【図 1】

本実施形態に係る光ファイバ素子の説明図である。

【図 2】

本実施形態に係る光ファイバ素子製造方法の説明図である。

【図 3】

本実施形態に係る光ファイバ素子製造方法の説明図である。

【図 4】

第 1 実施例の各光ファイバ素子のモードフィールド径等について纏めた図表である。

【図 5】

第 2 実施例の各光ファイバ素子のモードフィールド径等について纏めた図表である。

【図 6】

第 3 実施例の各光ファイバ素子の製造の際における温度分布および接続損失について纏めた図表である。

【図 7】

第 4 実施例の各光ファイバ素子の製造の際における温度分布および接続損失について纏めた図表である。

【図 8】

第 5 実施例の各光ファイバ素子の製造の際における温度分布および接続損失について纏めた図表である。

【図 9】

第 6 実施例の各光ファイバ素子の製造の際における温度分布および接続損失について纏めた図表である。

【図 1 0】

第 7 実施例（第 3 実施例と同様の処理を行った場合）の各光ファイバ素子の製造の際における温度分布および接続損失について纏めた図表である。

【図 1 1】

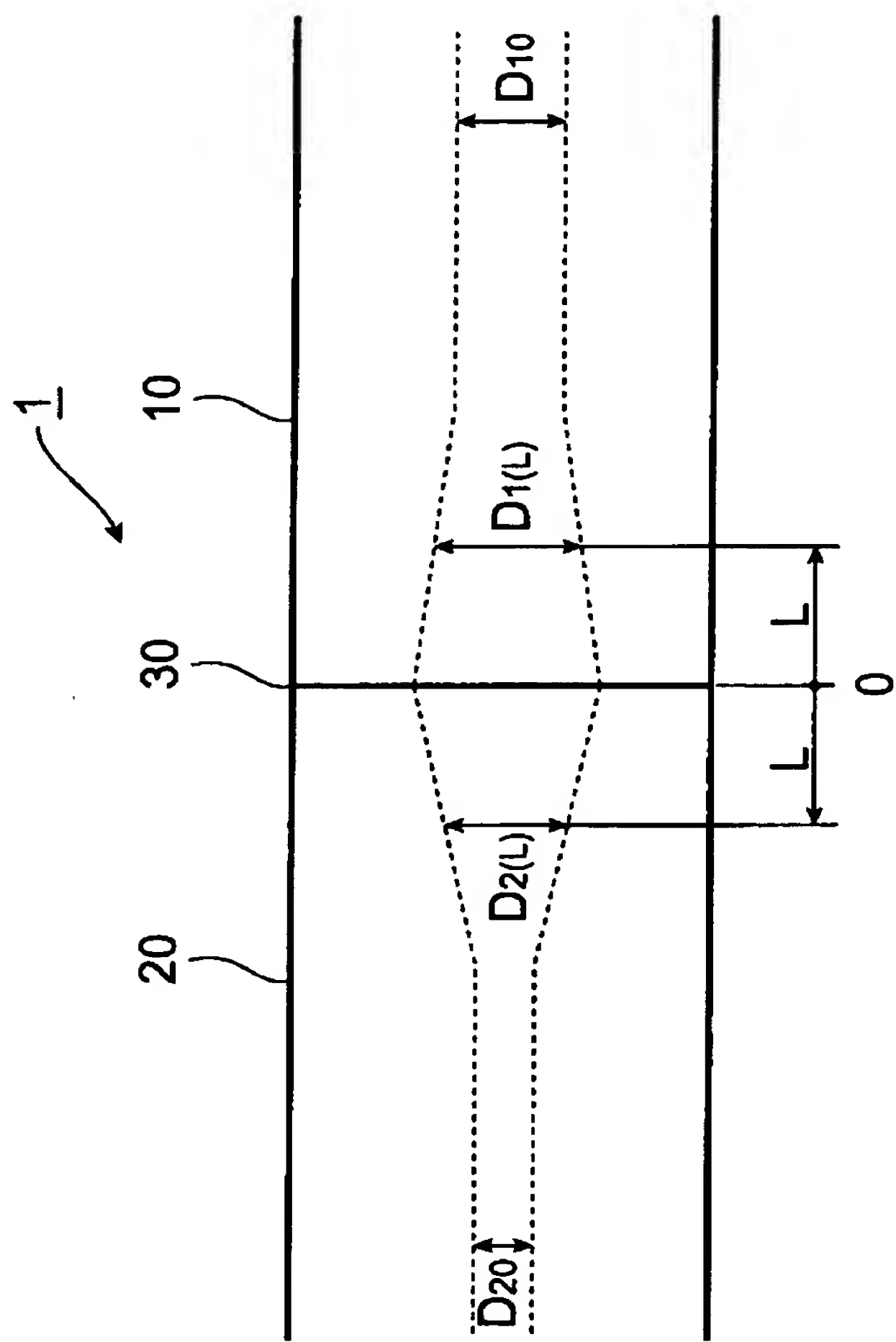
第 7 実施例（第 5 実施例と同様の処理を行った場合）の各光ファイバ素子の製造の際における温度分布および接続損失について纏めた図表である。

【符号の説明】

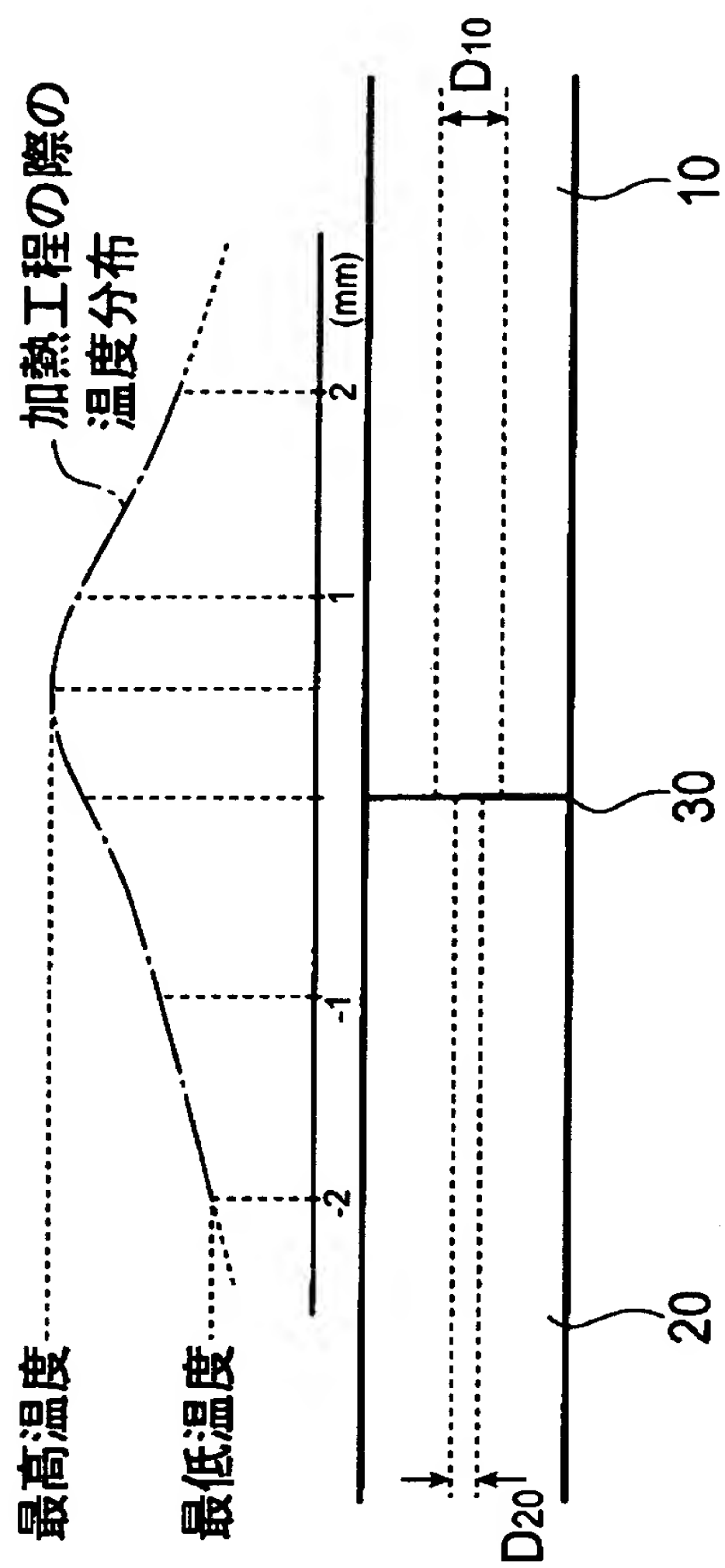
1 … 光ファイバ素子、 1 0 … 第 1 の光ファイバ、 2 0 … 第 2 の光ファイバ、 3 0 … 融着点。

【書類名】 図面

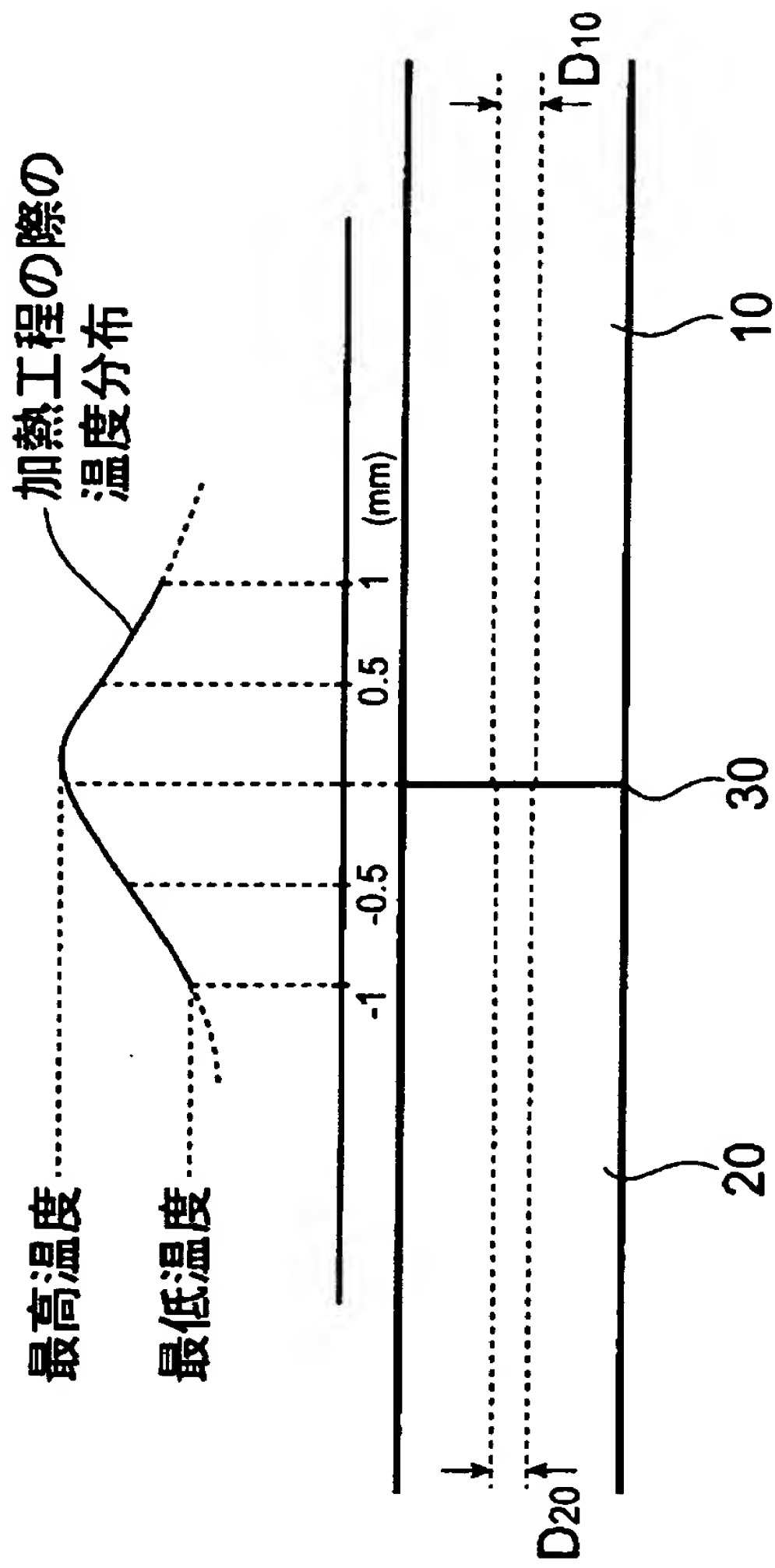
【図 1】



【図 2】



【図 3】



【図 4】

	第1の光ファイバ10						第2の光ファイバ20					接続損失 (dB)
	$D_{1(0)}, D_{2(0)}$ (μm)	$D_{1(2)}$ (μm)	$(D_{1(0)}-D_{1(2)})/2$ ($\mu\text{m/mm}$)	$D_{1(3)}$ (μm)	$(D_{1(0)}-D_{1(3)})/3$ ($\mu\text{m/mm}$)	D_{20} (μm)	$D_{2(2)}$ (μm)	$(D_{2(0)}-D_{2(2)})/2$ ($\mu\text{m/mm}$)	$D_{2(3)}$ (μm)	$(D_{2(0)}-D_{2(3)})/2$ ($\mu\text{m/mm}$)	L_2 (mm)	
1	11.2	9.3	10.4	9.8	0.5	5.1	8.5	1.4	6.2	1.7	3.7	0.15
2	11.2	9.3	10.3	9.6	0.5	5.1	9.3	0.9	5.3	2.0	3.3	0.14
3	11.2	9.3	9.9	9.3	0.6	5.1	6.2	2.5	5.1	2.0	2.9	0.31
4	12.2	10.0	10.5	10.0	0.7	4.6	9.3	1.5	5.3	2.3	4.0	0.17
5	12.2	10.0	10.9	10.5	0.6	4.6	8.5	1.9	4.7	2.5	3.0	0.17
6	12.2	10.0	11.1	10.5	0.6	4.6	8.0	2.1	4.7	2.5	3.0	0.25
7	13.5	11.5	12.5	11.9	0.5	4.8	11.3	1.1	5.0	2.8	3.1	0.11
8	13.5	11.5	12.2	11.8	0.6	4.8	10.5	1.5	4.9	2.9	3.0	0.15
9	13.5	11.5	12.0	11.7	0.6	4.8	10.3	1.6	4.9	2.9	3.0	0.21
10	13.5	11.5	12.5	11.9	0.5	4.8	9.8	1.9	6.0	2.5	3.5	0.16
11	13.5	11.5	12.2	11.7	0.6	4.8	9.3	2.1	6.0	2.5	3.6	0.22
12	13.5	11.5	12.1	11.7	0.6	4.8	9.3	2.1	6.4	2.4	4.1	0.25
13	14.5	13.0	13.8	13.5	0.3	7.0	12.0	1.3	7.3	2.4	3.6	0.15
14	14.5	13.0	13.8	13.4	0.4	7.0	11.4	1.6	8.0	2.2	4.2	0.17
15	14.5	13.0	13.8	13.4	0.4	7.0	10.3	2.1	7.0	2.5	4.2	0.22
16	9.7	8.0	9.2	8.6	0.4	2.0	7.0	1.4	3.0	2.2	4.3	0.13
17	9.7	8.0	9.1	8.4	0.4	2.0	6.0	1.9	2.1	2.5	3.2	0.19
18	9.7	8.0	8.8	8.1	0.5	2.0	5.1	2.3	2.0	2.6	2.8	0.30

【図 5】

第1の光ファイバ10					第2の光ファイバ20				
	D ₁₍₀₎ , D ₂₍₀₎ (μm)	D ₁₀ (μm)	D ₁₍₁₎ (μm)	(D ₁₀ -D ₁₍₁₎)/1 (μm/mm)	D ₂₀ (μm)	D ₂₍₁₎ (μm)	(D ₂₀ -D ₂₍₁₎)/1 (μm/mm)	L ₂ (mm)	接続損失 (dB)
1	6.0	4.5	4.8	0.6	4.5	4.6	1.4	1.0	0.16
2	6.0	5.0	5.3	0.4	4.5	5.3	0.7	1.5	0.13
3	13.5	13.0	13.2	0.2	11.5	12.5	1.0	2.0	0.10
4	13.5	13.0	13.2	0.2	11.5	11.9	1.6	1.4	0.25
5	4.0	3.8	3.9	0.1	2.0	2.4	1.6	1.3	0.26
6	4.0	3.8	3.9	0.1	2.0	2.9	1.1	1.8	0.11

【図 6】

	加熱中の 融着点に おける 温度(°C)	第1の 光ファイバ10 における 融着点から 2mm離れた 位置における 温度(°C)	第2の 光ファイバ20 における 融着点から 2mm離れた 位置における 温度(°C)	温度差 (°C)	接続損失 (dB)
1	780	720	730	60	0.10
2	780	670	680	110	0.22
3	900	810	820	90	0.16
4	900	850	860	50	0.08
5	900	800	810	100	0.18
6	950	910	920	40	0.07
7	950	870	880	80	0.11
8	950	800	810	150	0.32

【図 7】

	加熱中の 融着点に おける 温度(°C)	第1の 光ファイバ10 における 融着点から 1mm離れた 位置における 温度(°C)	第2の 光ファイバ20 における 融着点から 1mm離れた 位置における 温度(°C)	温度差 (°C)	接続損失 (dB)
1	780	720	730	60	0.17
2	780	690	700	90	0.23
3	900	830	850	70	0.22
4	900	850	860	50	0.14
5	900	830	840	70	0.24
6	950	910	920	40	0.10
7	950	870	880	80	0.25
8	950	810	820	140	0.33

【図 8】

	加熱温度が 最大になる 位置から融 着点位置まで の距離(mm)	加熱中の 融着点に おける 温度(°C)	融着点から 1mm離れた 位置における 温度(°C)	接続損失 (dB)
1	-6	470	350	1.31
2	-5	560	470	0.96
3	-4	620	560	0.72
4	-3	680	620	0.48
5	-2	720	680	0.29
6	-1	750	720	0.16
7	0	780	760	0.10
8	1	760	720	0.17
9	2	720	660	0.32
10	3	660	610	0.50
11	4	610	550	0.73
12	5	550	480	0.91
13	6	400	350	1.20

【図 9】

	加熱温度が 最大になる 位置から融 着点位置まで の距離(mm)	加熱中の 融着点に おける 温度(°C)	融着点から 1mm離れた 位置における 温度(°C)	接続損失 (dB)
1	-3	650	610	0.55
2	-2.5	680	650	0.44
3	-2	710	680	0.41
4	-1.5	730	710	0.37
5	-1	740	730	0.23
6	-0.5	750	740	0.16
7	0	760	750	0.08
8	0.5	750	720	0.17
9	1	720	690	0.26
10	1.5	690	670	0.36
11	2	670	650	0.43
12	2.5	650	620	0.48
13	3	620	350	0.58

【図 1 0】

	加熱中の 融着点に おける 温度(°C)	第1の 光ファイバ10 における 融着点から 2mm離れた 位置における 温度(°C)	第2の 光ファイバ20 における 融着点から 2mm離れた 位置における 温度(°C)	温度差 (°C)	接続損失 (dB)
1	1320	1260	1270	60	0.07
2	1250	1050	1070	200	0.34
3	1120	1050	1060	70	0.13
4	1060	950	960	110	0.22

【図 1 1】

	加熱温度が 最大になる 位置から融 着点位置ま での距離(mm)	加熱中の 融着点に おける 温度(°C)	融着点から 1mm離れた 位置におけ る温度(°C)	接続損失 (dB)
1	-6	930	910	1.01
2	-5	990	930	0.7
3	-4	1050	990	0.65
4	-3	1120	1050	0.48
5	-2	1170	1120	0.27
6	-1	1220	1170	0.15
7	0	1260	1220	0.10
8	1	1210	1180	0.16
9	2	1180	1120	0.34
10	3	1120	1060	0.60
11	4	1060	1000	0.75
12	5	1000	950	0.89
13	6	950	900	1.09

【書類名】 要約書

【要約】

【課題】 融着点における接続損失が更に小さい光ファイバ素子およびその製造方法を提供する。

【解決手段】 光ファイバ素子 1 は、融着点 3 0 で互いに融着接続された第 1 の光ファイバ 1 0 および第 2 の光ファイバ 2 0 を含んでいる。光ファイバ素子 1 は、融着接続前の第 1 の光ファイバ 1 0 のモードフィールド径 D_{10} と第 2 の光ファイバ 2 0 のモードフィールド径 D_{20} との差に応じて、融着接続後の第 1 の光ファイバ 1 0 のモードフィールド径分布 $D_1(L)$ および第 2 の光ファイバ 2 0 のモードフィールド径分布 $D_2(L)$ それぞれが適切に設定されていることにより、融着点 3 0 における接続損失が更に小さいものとなる。

【選択図】 図 1

特 2 0 0 0 - 3 2 1 6 8 7

出 願 人 履 歴 情 報

識別番号 [0 0 0 0 0 2 1 3 0]

1. 変更年月日 1 9 9 0 年 8 月 2 9 日

[変更理由] 新規登録

住 所 大阪府大阪市中央区北浜四丁目 5 番 3 3 号

氏 名 住友電気工業株式会社